玉米破碎粒度对蛋鸡生产性能、蛋品质及消化器官指数的影响[1]

杨　洁[1]　张嘉琦[1]　李军国[1,2*]　于治芹[1]　李　俊[1]　牛力斌[1]

（1.中国农业科学院饲料研究所，饲料加工创新团队，北京 100081；2.农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究玉米粉碎粒度与破碎粒度对蛋鸡生产性能、蛋品质和消化器官指数的影响。对照组饲粮中玉米采用锤片粉碎机进行粉碎，筛片孔径分别为 4.0 和 8.0 mm，试验组饲粮中玉米采用对辊式滚刀粉碎机进行破碎，碟盘间隙分别为 0.3、0.7、1.1 和 1.5 mm。选取 30 周龄的海兰褐蛋鸡 1 620 只，随机分为 6 组，每组 6 个重复，每个重复 45 只鸡，进行养殖试验，试验期 8 周。结果表明：玉米的几何平均粒径随着粉碎机筛片孔径或碟盘间隙的增大而显著增大（P<0.05）。玉米破碎组蛋鸡的生产性能、饲粮养分表观利用率、蛋品质和消化器官指数优于粉碎组。玉米采用锤片粉碎机粉碎后，筛片孔径 8.0 mm 组（几何平均粒径 1 980.00 μm）蛋鸡生产性能、饲粮养分表观利用率显著高于筛片孔径 4.0 mm 组（几何平均粒径 991.67 μm）（P<0.05），蛋品质和消化器官指数差异不显著（P>0.05）；采用对辊式滚刀粉碎机破碎后，碟盘间隙 0.7 mm 组（几何平均粒径 1 446.30 μm）蛋鸡生产性能优于其他各组，且产蛋率显著高于筛片孔径 8.0 mm 组（P<0.05），饲粮养分表观利用率、蛋品质和消化器官指数差异不显著（P>0.05）。结果显示，针对蛋鸡饲料，玉米采用对辊式滚刀粉碎机破碎优于锤片粉碎机粉碎，碟盘间隙 0.7 mm（几何平均粒径 1 446.30 μm）时，蛋鸡生产性能、蛋品质和消化器官指数最佳。

关键词：破碎粒度；蛋鸡；生产性能；蛋品质；消化器官指数

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

粉碎是饲料加工中非常重要的环节，通过粉碎可增大单位质量原料的总表面积，使饲料养分在动物消化液中的溶解度增加，从而提高动物对饲料的消化率[1-3]。但从饲养效果和能耗来说，并不是粉碎粒度越小越好，而是选择饲养动物对饲料具有最大利用率、最佳生产性能且不影响动物健康、经济上合算的最佳粒度。确定最佳粒度需要考虑多方面的因素，如动物种类、生长阶段、消化生理特点、加工成本、生产性能和养分利用率以及胃肠道损失程度、配合料的加工性能等[4]。一般的畜禽料通常采用锤片粉碎机粉碎，但容易造成物料过度粉碎，电耗增加，而且细粉末会黏附于筛板，堵塞筛孔，造成粉碎效率下降，而对辊粉碎机，物料粉碎效率比较高且粒度均匀，同时降低了粉碎能耗[5]。目前，对蛋鸡饲料粒度的研究较少并且研究结果也不一致，而玉米经对辊式滚刀粉碎机破碎后其粒度对蛋鸡生产性能、蛋品质及消化器官指数的影响还未见报道[6-8]。因此，本试验采用锤片粉碎机和对辊式滚刀粉碎机对玉米进行粉碎和破碎，研究玉米粉碎粒度与破碎粒度对蛋鸡生产性能、蛋品质及消化器官指数的影响，为蛋鸡饲料粉碎方式和粒度的确定提供较为可靠的试验依据，以更大程度地发挥

收稿日期：2017-07-25

基金项目：现代农业产业技术体系北京市家禽创新团队项目；中国农业科学院创新工程项目

作者简介：杨　洁（1983—），女，河北沧州人，助理研究员，博士，研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: yangjie02@caas.cn

*通信作者：李军国，研究员，硕士生导师，E-mail: lijunguo@cass.cn

饲料加工对蛋鸡生产的积极作用。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验采用单因素试验设计，选取采食正常、体重相近、产蛋率一致的健康海兰褐蛋鸡 1 620 只（30 周龄），随机分为 6 组，每组 6 个重复，每个重复 45 只鸡。基础饲粮参照 NRC（1994）和《鸡饲养标准》（NY/T 33—2004），并结合海兰褐蛋鸡饲养手册配制，基础饲粮组成及营养水平见表 1。对照组饲粮中玉米采用锤片粉碎机进行粉碎，筛片孔径分别为 4.0 和 8.0 mm，设为 A 组和 B 组；试验组饲粮中玉米采用对辊式滚刀粉碎机进行破碎，碟盘间隙分别为 0.3、0.7、1.1 和 1.5 mm，设为 C 组、D 组、E 组和 F 组，其余饲粮原料加工方式一致。预饲 1 周，正式试验 8 周。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	64
豆粕 Soybean meal	24
石粉 Limestone	7
预混料 Premix[1)]	5
合计 Total	100
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/（MJ/kg）	11.47
粗蛋白质 CP	16.83
钙 Ca	3.50
有效磷 AP	0.36
赖氨酸 Lys	0.79
蛋氨酸 Met	0.39

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 6 000 U，VB_2 5.5 mg，VD_3 2 500 U，VB_1 1.75 mg，VB_6 4 mg，VB_{12} 0.017 5 mg，VE 25 mg，VK_3 2.25 mg，生物素 biotin 0.14 mg，叶酸 folic acid 0.9 mg，烟酸 nicotinic acid 34 mg，泛酸 pantothenic acid 12 mg，植酸酶 phytase 400 U，胆碱 chloride 300 mg，Fe 75 mg，Cu 7.5 mg，Zn 60 mg，Mn 60 mg，I 0.75 mg，Se 0.15 mg，Ca 9.5 g，P 2.0 g，食盐 NaCl 3.7 g。

[2)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.2　饲养管理

试验采用封闭式鸡舍 3 层阶梯式笼养，每笼 3 只鸡。依鸡场常规方法进行饲养管理，鸡舍采用自动控制人工光照，16 h（白天）∶8 h（夜晚），光照强度为 20 lx，室温（25±5） ℃，相对湿度 40%～70%。自由采食，每天 08:00 和 14:00 喂料 1 次，匀料 4 次；乳头式饮水器，自由饮水；每周带鸡消毒和清理鸡粪 1 次。

1.3　测定指标与方法

1.3.1　玉米粒度测定

几何平均粒径按照 ANSI/ASAE S319.4—2008 方法进行测定。

具体的操作方法为：将 100 g 样品放在筛组最上层，使用拍击式振筛机使其振动 10 min。然后分别称量并记录各层筛上物料的质量，并按下式计算物料的对数几何平均粒径。

$$d_{gw} = \log^{-1}\left[\frac{\sum(W_i \log \overline{d_i})}{\sum W_i}\right]$$

$$s_{gw} = \log^{-1}\left[\frac{\Sigma W_i \left(\log d_i - \log d_{gw}\right)^2}{\Sigma W_i}\right]^{1/2}$$

式中：d_{gw} 为几何平均直径（μm）；$\overline{d_i}$ 为第 i 层筛子上物料颗粒的几何平均直径（μm），$\overline{d_i} = (d_i \times d_{i+1})^{\frac{1}{2}}$；$d_i$ 为第 i 层筛的筛片孔径（μm）；d_{i+1} 为比第 i 层筛孔大的相邻筛子的筛片孔径（μm）；W_i 为第 i 层筛子上物料的质量（g）；S_{gw} 为几何平均标准差（μm）。

1.3.2　生产性能测定

试验期间以重复为单位，每日记录采食量、产蛋数、废蛋个数（破、畸、碎、软、无壳）、淘汰与死亡鸡只数、死亡时间、体（尸）重，并计算试验期间的平均日采食量、平均蛋重、产蛋率和料蛋比。

1.3.3　饲粮养分表观利用率的测定

采用全收粪法收集蛋鸡排泄物，测定饲粮中粗蛋白质、能量和干物质的表观利用率。

表观利用率的计算公式为：

表观利用率=100×（食入养分总量－粪中养分总量）/食入养分总量。

式中，饲粮和粪样中粗蛋白质、能量和干物质的测定方法：粗蛋白质含量参照 GB/T 6432—1994 通过凯氏定氮法测定；能量值采用 IKAc2000 标准型氧弹量热仪测定；干物质含量参照 GB/T 6435—2014 测定。

1.3.4　蛋品质测定

正式试验第 4 周末、第 8 周末分别从每个重复随机选 10 枚蛋进行蛋品质测定（24 h 内测完），测定指标为蛋重、蛋形指数、蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋黄比率及哈氏单位。第 8 周末色差采用 LabScan XE 色差仪进行测定，以亮度（L）、红度（a）和黄度（b）颜色空间表示，L=0 表示黑色，L=100 表示白色；a 和 b 表示不同的色彩方向，a 表示红–绿方向，b 表示黄–蓝方向。

1.3.5　消化器官指数测定

在试验期的第 8 周末，每个重复选取 2 只身体健康、体重中等、产蛋正常的蛋鸡，以颈部放血的方式屠宰，取出并分离肌胃、十二指肠和盲肠。分别测量每只鸡腺胃、肌胃、十二指肠、空肠和回肠的重量和长度，计算各部分消化器官指数，并对肌胃进行评分。

1.4　数据统计及分析

试验数据采用 SPSS 17.0 进行单因子方差分析，以“平均值±标准差”的形式表示，各组间的平均值采用 Duncan 氏法多重比较进行差异显著性检验，以 P<0.05 作为差异显著性的标准。

2　结果与分析

2.1　玉米几何平均粒径及粒度分布

玉米几何平均粒径测定结果见表 2。由表 2 可知，玉米经锤片粉碎机（筛片孔径分别为 4.0 和 8.0 mm）粉碎后几何平均粒径为 991.67 和 1 980.00 μm，玉米经对辊式滚刀粉碎机（碟盘间隙分别为 0.3、0.7、1.1 和 1.5 mm）破碎后的几何平均粒径为 1 064.70、1 446.30、1 646.30 和 1 912.00 μm，其中 A 组和 C 组、B 组和 F 组玉米几何平均粒径比较接近。

表 2　玉米几何平均粒径

Table 2　The geometric mean diameter of corn

组别 Groups	几何平均粒径 The geometric mean diameter/μm	几何平均标准差 The geometric mean standard deviation/μm
A	991.67±12.50^{a}	1.62±0.00
B	1 980.00±67.51^{f}	1.70±0.02
C	1 064.70±1.53^{b}	1.59±0.01
D	1 446.30±21.50^{c}	1.60±0.01
E	1 646.30±12.50^{d}	1.66±0.01
F	1 912.00±25.00^{e}	1.67±0.00

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

玉米粉碎和破碎后粒度分布见图 1。由图 1 可知，玉米经粉碎和破碎后，粒度分布不同。粉碎组(经锤片粉碎机粉碎)：随着筛片孔径的变大，2 000 μm 以上大颗粒所占比例明显上升，300 μm 以下的小颗粒所占比例明显下降；破碎组（经对辊式滚刀粉碎机破碎）：随着碟盘间隙的变大，2 360 μm 以上大颗粒所占比例明显上升，1 180 μm 以下的小颗粒所占比例明显下降。破碎组与粉碎组相比，A 组和 C 组虽然几何平均粒径比较接近，但粒度分布不同，300 μm 及以下的颗粒分别占 32.16%和 23.00%；B 组和 F 组几何平均粒径比较接近，粒度分布基本相同，2 000 μm 及以上颗粒分别占 61.70%和 60.37%，300 μm 及以下则分别占了 11.55%和 10.47%。

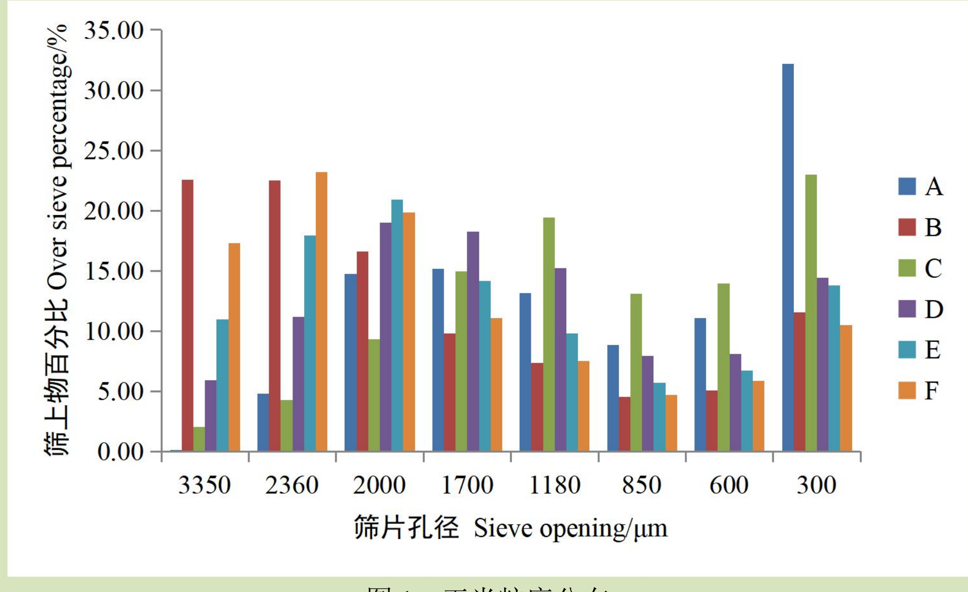


图 1　玉米粒度分布

Fig.1　Particle size distribution of corn

2.2　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡生产性能的影响

玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡生产性能的影响见表 3。由表 3 可知，粉碎组：B 组的平均日采食量、平均蛋重大于 A 组，但差异不显著（P>0.05），产蛋率显著高于 A 组（P<0.05），料蛋比显著小于 A 组（P<0.05），B 组的产蛋性能优于 A 组；破碎组：随着碟盘间隙的增大，平均日采食量显著增大（P<0.05），F 组的平均蛋重最大，但与其他组差异不显著（P>0.05），D 组和 E 组的产蛋率显著高于 F 组（P<0.05），D 组的料蛋比最小，但各组之间差异不显著（P>0.05），D 组的产蛋性能较优。破碎组与粉碎组相比，A 组和 C 组几何平均粒径比较接近，但 C 组的平均日采食量显著高于 A 组（P<0.05），平均蛋重大于 A 组，差异不显著（P>0.05），产蛋率显著高于 A 组（P<0.05），料蛋比显著小于 A 组（P<0.05）；B 组和 F 组几何平均粒径比较接近，但 F 组的平均日采食量显著高于 B 组（P<0.05），平均蛋重大于 B 组，差异不显著（P>0.05），产蛋率显著高于 B 组（P<0.05），料蛋比大于 B 组，差异不显著（P>0.05）。

通过蛋鸡生产性能的数据可知，破碎组的产蛋性能优于粉碎组，并且 D 组的产蛋率较高，料蛋比最低，平均蛋重较高。

表 3　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡生产性能的影响

Table 3　Effects of corn grinding method and particle size on performance of laying hens

组别 Groups	平均日采食量 Average daily feed intake/g	平均蛋重 Average egg weight/g	产蛋率 Laying rate/%	料蛋比 Feed to egg ratio
A	120.01 ± 0.19^{a}	62.31 ± 0.56^{a}	85.25 ± 1.73^{a}	2.32 ± 0.25^{b}
B	121.07 ± 1.25^{ab}	62.73 ± 0.64^{ab}	89.69 ± 3.42^{b}	2.15 ± 0.16^{a}
C	122.22 ± 1.02^{b}	62.57 ± 0.65^{ab}	92.01 ± 1.60^{cd}	2.12 ± 0.15^{a}
D	123.75 ± 0.26^{c}	63.06 ± 0.61^{ab}	92.83 ± 1.05^{d}	2.11 ± 0.15^{a}
E	124.45 ± 0.23^{c}	62.77 ± 1.79^{ab}	93.43 ± 1.66^{d}	2.12 ± 0.15^{a}
F	125.99 ± 0.22^{d}	63.24 ± 0.81^{b}	91.32 ± 1.27^{c}	2.18 ± 0.09^{a}

2.3　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡饲粮养分表观利用率的影响

玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡饲粮养分表观利用率的影响见表 4。由表 4 可知，粉碎组：B 组的粗蛋白质表观利用率高于 A 组，但差异不显著（P>0.05），能量和干物质的表观利用率显著高于 A 组（P<0.05）；破碎组：C 组的粗蛋白质、能量和干物质表观利用率最高，显著高于 E 组（P<0.05），与其他各组差异不显著（P>0.05）。破碎组与粉碎组相比，A 组和 C 组几何平均粒径比较接近，但 C 组的粗蛋白质、能量和干物质表观利用率显著高于 A 组（P<0.05）；B 组和 F 组几何平均粒径比较接近，B 组的粗蛋白质、能量和干物质表观利用率高于 F 组，但差异不显著（P>0.05）。

通过饲粮养分表观利用率的数据结果可知，C 组粗蛋白质、能量和干物质表观利用率最高，其次依次是 B 组、F 组和 D 组。

表 4　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡饲粮养分表观利用率的影响

Table 4　Effects of corn grinding method and particle size on nutrient apparent utilization in diet of laying hens　　%

组别 Groups	粗蛋白质 Crude protein	能量 Energy	干物质 Dry matter

A	59.52±10.95[a]	76.34±1.35[ab]	70.10±1.79[ab]
B	64.33±7.75[ab]	83.68±3.10[c]	78.26±3.17[d]
C	74.38±2.05[b]	83.25±1.06[c]	78.34±1.08[d]
D	62.34±10.80[ab]	79.41±3.90[bc]	72.97±3.46[bc]
E	52.64±3.99[a]	73.93±1.30[a]	68.40±1.95[a]
F	63.93±1.79[ab]	79.67±1.05[bc]	74.93±0.92[cd]

2.4　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡蛋品质的影响

玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡蛋品质的影响见表 5。由表 5 可知，试验第 4 周，粉碎组：A 组和 B 组的蛋壳强度、蛋壳厚度和蛋黄比率差异不显著（P>0.05），A 组的蛋形指数显著小于 B 组（P<0.05），但都属于椭圆形，A 组的哈氏单位高于 B 组，但差异不显著（P>0.05）；破碎组：各组的蛋壳强度、蛋壳厚度和蛋形指数差异不显著（P>0.05），C 组和 F 组的蛋黄比率显著高于 E 组（P<0.05），C 组和 D 组的哈氏单位显高于 F 组（P<0.05）。破碎组与粉碎组相比，A 组和 C 组几何平均粒径比较接近，但 C 组的蛋壳厚度、蛋黄比率显著大于 A 组（P<0.05），哈氏单位显著低于 A 组（P<0.05）；B 组和 F 组几何平均粒径比较接近，但 F 组的哈氏单位显著低于 B 组（P<0.05），其他指标差异不显著（P>0.05）。试验第 8 周，粉碎组：A 组和 B 组的各个指标差异都不显著（P>0.05）；破碎组：F 组蛋壳厚度显著大于 C 组（P<0.05），其他指标差异不显著（P>0.05）。破碎组与粉碎组相比，A 组和 C 组几何平均粒径比较接近，各个指标差异都不显著（P>0.05）；B 组和 F 组几何平均粒径比较接近，F 组的蛋壳强度、蛋壳厚度显著大于 B 组(P<0.05)，哈氏单位也高于 B 组，但差异不显著(P>0.05)。

表 5　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡蛋品质的影响

Table 5　Effects of corn grinding method and particle size on egg quality of laying hens

时间 Time	组别 Groups	蛋壳强度 Eggshell strength/(N/m²)	蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm	蛋形指数 Egg shape index	蛋黄比率 Yolk ratio	哈氏单位 Haugh unit
第 4 周 The fourth week	A	45.22±9.14	0.40±0.02[a]	1.30±0.04[a]	0.26±0.02[ab]	88.18±4.35[d]
	B	45.18±10.94	0.40±0.02[ab]	1.32±0.05[b]	0.27±0.02[abc]	85.94±4.57[cd]
	C	46.97±9.38	0.41±0.02[b]	1.31±0.04[ab]	0.27±0.02[c]	84.64±7.07[bc]
	D	45.74±7.43	0.40±0.02[ab]	1.31±0.04[ab]	0.27±0.02[abc]	85.99±5.62[cd]
	E	43.87±8.17	0.40±0.02[ab]	1.30±0.03[ab]	0.26±0.02[a]	82.13±3.83[ab]
	F	45.97±8.79	0.40±0.02[ab]	1.30±0.04[ab]	0.27±0.02[bc]	80.76±6.10[a]
第 8 周 The eighth week	A	46.08±9.58[ab]	0.37±0.02[ab]	1.31±0.04	0.25±0.07	85.52±5.79
	B	42.07±9.01[a]	0.36±0.02[a]	1.31±0.04	0.27±0.01	82.31±6.43
	C	45.82±7.53[ab]	0.36±0.02[a]	1.30±0.02	0.27±0.05	85.57±7.10
	D	47.81±9.53[b]	0.37±0.02[ab]	1.31±0.04	0.25±0.07	84.69±5.84
	E	45.47±10.43[ab]	0.37±0.02[ab]	1.32±0.03	0.26±0.05	84.61±5.53
	F	48.35±8.51[b]	0.38±0.03[b]	1.32±0.03	0.27±0.05	85.30±5.06

玉米粉碎方式及粒度对蛋黄颜色的影响见表 6。由表 6 可知，粉碎组：A 组 a 值显著大于 B 组（P<0.05）；破碎组：E 组和 F 组 L 值显著大于 C 组和 D 组（P<0.05）；F 组 a 值显著大于 C 组、D 组和 E 组（P<0.05）；E 组和 F 组 b 值显著大于 C 组和 D 组（P<0.05）。破碎组与粉碎组相比，A 组和 C 组几何平均粒径比较接近，A 组 a 值显著大于 C 组（P<0.05）；B 组和 F 组几何平均粒径比较接近，F 组 L 值显著大于 B 组（P<0.05），b 值显著小于 B 组（P<0.05）。

通过整个试验期间蛋品质和蛋黄颜色的数据可知，D 组的蛋品质较好。

表 6　玉米粉碎方式及粒度对蛋黄颜色的影响（第 8 周）

Table 6　Effects of corn grinding method and particle size on egg color （the eighth week）

组别 Groups	亮度 L	红度 a	黄度 b
A	71.46±0.74[a]	1.70±0.32[c]	7.49±0.66[b]
B	71.61±0.70[a]	1.26±0.34[b]	7.51±0.83[b]
C	71.78±0.59[a]	0.96±0.25[a]	7.45±0.90[b]
D	71.84±0.63[a]	0.95±0.27[a]	7.39±0.94[b]
E	73.13±0.60[b]	0.99±0.21[a]	6.95±0.77[a]
F	72.80±0.78[b]	1.31±0.22[b]	7.01±0.61[a]

2.5　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡消化器官指数的影响

玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡消化器官相对重量的影响见表 7。由表 7 可知，粉碎组：B 组的肌胃相对重量高于 A 组，但差异不显著（P>0.05）；破碎组：D 组的腺胃、十二指肠、回肠相对重量都高于其他各组（P>0.05），肌胃和空肠相对重量高于 C 组和 E 组，略低于 F 组，但差异均不显著（P>0.05）。破碎组与粉碎组相比，A 组和 C 组几何平均粒径比较接近，C 组的腺胃、肌胃、十二指肠相对重量都大于 A 组，但差异不显著（P>0.05）；B 组和 F 组几何平均粒径比较接近，F 组的肌胃相对重量大于 B 组，腺胃、十二指肠、空肠和回肠相对重量都小于 B 组，但差异不显著（P>0.05）。

表 7　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡消化器官相对重量的影响

Table 7　Effects of corn grinding method and particle size on relative weight of digestive organs of laying hens　　　%

组别 Groups	腺胃 Proventriculus	肌胃 Gizzard	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
A	0.38±0.08	1.37±0.15	0.56±0.05	1.00±0.09	0.74±0.13
B	0.38±0.04	1.44±0.18	0.56±0.05	0.96±0.08	0.75±0.17
C	0.39±0.04	1.38±0.15	0.58±0.07	0.91±0.03	0.73±0.13
D	0.40±0.03	1.44±0.17	0.58±0.09	0.91±0.08	0.73±0.09
E	0.39±0.04	1.42±0.16	0.54±0.12	0.87±0.14	0.60±0.11
F	0.37±0.03	1.47±0.18	0.52±0.07	0.92±0.12	0.66±0.04

玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡肠道相对长度的影响见表 8。由表 8 可知，粉碎组：B 组的十二指肠、回肠和小肠相对长度都大于 A 组（P>0.05），只有空肠相对长度略小于 A 组，但差异不显著（P>0.05）；破碎组：D 组的十二指肠、空肠、回肠和小肠相对长度都大于 C 组、E 组和 F 组，但差异不显著（P>0.05）。破碎组与粉碎组相比，A 组和 C 组几何平均粒径比较接近，C 组的十二指肠、空肠、回肠和小肠相对长度都大于 A 组，但差异不显著（P>0.05）；B 组和 F 组几何平均粒径比较接近，B 组的十二指肠、回肠和小肠相对长度都大于 F 组，但差异不显著（P>0.05）。

同时，通过对各组肌胃进行评分，结果均未发现溃疡。因此，从消化器官指数数据上看，D 组蛋鸡消化器官指数优于其他各组。

表 8　玉米粉碎方式及粒度对蛋鸡肠道相对长度的影响

Table 8　Effects of corn grinding method and particle size on relative length of intestines of laying hens　　　%

组别 Groups	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	小肠 Small intestine
A	1.32±0.14	3.27±0.30^{ab}	3.02±0.49	7.61
B	1.47±0.18	3.22±0.27^{ab}	3.08±0.40	7.77
C	1.42±0.20	3.57±0.19^{b}	3.04±0.49	8.03
D	1.52±0.16	3.57±0.26^{b}	3.05±0.23	8.14
E	1.37±0.12	3.13±0.12^{a}	2.96±0.21	7.50
F	1.36±0.27	3.25±0.34^{ab}	3.01±0.40	7.62

3 讨 论

3.1 粉碎方式对玉米粒度的影响

饲料原料的粉碎效果通常用几何平均粒径来表示，粉碎机类型通常会影响物料的粉碎效果。目前，对辊粉碎机和锤片粉碎机是饲料加工中最常用的原料粉碎设备，常用来粉碎原粮或配料。孟陆丽等[9]将玉米粉碎至粒度为 700.00 μm 时，发现对辊粉碎机的总粉碎成本明显低于锤片式粉碎机，并且对辊粉碎机得到的最终粉碎产品呈均匀分布态势，细粉颗粒也较少。Helmann 等[10]研究发现当处理过粗的颗粒时，对辊粉碎机比锤片式粉碎机节能更显著。张燕鸣等[8]采用锤片粉碎机将玉米粉碎，研究结果显示采用 4.5、6.0 和 8.0 mm 3 种筛片孔径粉碎玉米的几何平均粒径分别为 552.87、647.31 和 704.15 μm，3 种筛片孔径粉碎的玉米在小于 400 和 1 000～1 500 μm 的区间范围内分布较集中。秦永林[11]采用锤片粉碎机，将原料在 2.5、3.0、4.5、5.0、7.0 和 8.0 mm 的筛片孔径下进行粉碎，研究发现几何平均粒径随着粉碎机筛片孔径的增大呈增大趋势，与王卫国[12-13]、杨洁[14]、孙启波等[15]的研究结果相一致。本试验采用锤片式粉碎机（筛片孔径分别为 4.0 和 8.0 mm）将玉米粉碎后几何平均粒径为 991.67 和 1 980.00 μm，采用对辊式滚刀粉碎机（碟盘间隙分别为 0.3、0.7、1.1 和 1.5 mm）将玉米破碎后几何平均粒径为 1 064.70、1 446.30、1 646.30 和 1 912.00 μm，几何平均粒径随着粉碎机筛片孔径或碟盘间隙的增大呈显著增大趋势；同时，通过玉米的粒度分布可知，玉米经过筛片孔径为 4.0 mm 的锤片粉碎机粉碎后，300 μm 以下小颗粒较多，造成了过度粉碎；而筛片孔径为 8.0 mm 组粉碎粒度均匀，与对辊粉碎机的粉碎效果一样，与上述研究结果相一致。

3.2 玉米粒度对蛋鸡生产性能的影响

我国饲料生产厂家在蛋鸡饲料生产中一般采用较大的筛片孔径，通常为 5～8 mm。目前，饲料粉碎粒度对蛋鸡生产性能影响的研究较少，而且可能由于试验饲粮的加工和试验动物生产状况的不同，导致试验结果不尽一致。王卫国等[16]采用锤片粉碎机，将玉米、豆粕在 5.0、7.0 和 8.0 mm 筛片孔径下进行粉碎，配制成 3 种粉碎粒度的配合饲料，进行产蛋鸡的对比饲喂试验，研究结果表明试验 3 种粉碎粒度对蛋鸡的生产性能无显著影响，但在试验的条件下选择 7.0 mm 的筛片孔径来控制产蛋鸡饲料的粉碎粒度相对较好。高天权[17]用粒度为 600、800、1 000、1 200、1 500 和 1 800 μm 的 6 种玉米配成的饲粮饲喂罗曼粉壳蛋鸡，研究结果表明，从 600～1 500 μm，随着玉米粒度的增大蛋鸡的采食量和产蛋率增加；玉米粉碎粒度对各阶段平均蛋重有显著的影响，在产蛋前期和全期玉米粒度为 1 500 μm 时平均蛋重最高；玉米粉碎粒度对料蛋比的影响在各阶段差异都不显著。Safaa 等[18]用粒度为 774、922 和 1 165 μm 的 3 种玉米配成的饲粮饲喂罗曼蛋鸡，研究结果表明除了采食量随玉米粒度的增加而显

著增加外，产蛋率、蛋料比和蛋品质均无显著差异。张春兰[4]用粒度为 671.56、824.97 和 1 001.70 μm 的 3 种玉米配成的饲粮饲喂罗曼粉壳蛋鸡，研究结果表明随玉米粒度的增大各阶段采食量和产蛋率均有极显著增加，而玉米粉碎粒度对平均蛋重和料蛋比无显著影响。本试验中玉米采用锤片粉碎机粉碎后，筛片孔径 8.0 mm 组（几何平均粒径 1 980.00 μm）蛋鸡生产性能的显著高于筛片孔径 4.0 mm 组（几何平均粒径 991.67 μm），与甘悦宁等[2]报道的筛片孔径 8.0 mm 组的日均产蛋量、产蛋率和平均蛋重组高于筛片孔径 4.0、6.0 和 10.0 mm 组的结果相一致；玉米采用对辊式滚刀粉碎机破碎后，碟盘间隙 0.7 mm 组（几何平均粒径 1 446.30 μm）蛋鸡生产性能最佳，且产蛋率显著高于筛片孔径 8.0 mm 组，与高天权[17]的研究结果相一致。

3.3　玉米粒度对蛋鸡饲粮养分表观利用率的影响

大量研究表明粉碎粒度与饲粮中养分消化率有很大关系，饲料颗粒表面积越大，与消化酶或微生物接触的机会就越大，从而增加了饲粮中养分在消化液中的溶解度，有利于动物对饲粮养分的消化吸收，提高饲粮的消化利用率。王卫国等[16]将玉米、豆粕在 5.0、7.0 和 8.0 mm 筛片孔径下进行粉碎，配制成 3 种粉碎粒度的配合饲料，进行产蛋鸡的对比饲喂试验，研究结果表明于干物质、粗蛋白质的消化吸收有一定的影响，但差异不显著。王卫国等[19]同时也研究了 7 种不同原料（玉米、麸皮、去皮豆粕、带皮豆粕、普通豆粕、棉籽粕和菜籽粕）在 5 种筛片孔径下（0.6、1.0、1.5、2.5 和 4.0 mm）的蛋白体外消化率，结果表明所有原料粗蛋白质体外消化率都随粉碎粒度的降低而增加。张燕鸣等[7]将玉米、豆粕分别在 4.5、6.0 和 8.0 mm 筛片孔径下粉碎，两两交互后按同一配方配制试验饲粮，饲喂海兰灰蛋鸡，结果表明玉米粒度对饲粮粗蛋白质代谢率有显著影响，随着玉米、豆粕粒度的增大，饲粮粗蛋白质代谢率会随之降低。Kilburn 等[20]和 Parsons 等[21]研究饲料粉碎粒度对干物质、氮、氨基酸以及总能的影响，也得出了相同的结论。但是并不是粉碎粒度越小就越有利于动物对饲粮的消化利用，李清晓等[22]研究了 529、449、334 和 210 μm 4 种粉碎粒度的豆粕所配制的饲粮，研究结果表明粉碎粒度对能量、干物质的消化率没有显著影响，但是 449 μm 组的能量、干物质的消化率最高，粗蛋白质消化率显著高于粉碎粒度较低的 2 组。本试验中玉米采用锤片粉碎机粉碎后，筛片孔径 8.0 mm 组（几何平均粒径 1 980.00 μm）蛋鸡饲粮粗蛋白质、能量和干物质表观利用率高于筛片孔径 4.0 mm 组（几何平均粒径 991.67 μm）；玉米采用对辊式滚刀粉碎机破碎后，碟盘间隙 0.3 mm 组（几何平均粒径 1 064.70 μm）蛋鸡饲粮粗蛋白质、能量和干物质表观利用率最高，且高于筛片孔径 8.0 mm 组，符合粒度越小养分消化率越高的规律。

3.4　玉米粒度对蛋鸡蛋品质的影响

蛋品质一般包括蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋形指数、蛋黄比率、哈氏单位和蛋黄色泽几个指标。蛋壳强度和厚度对蛋壳质量和鸡蛋的运输有重要意义。蛋形指数用蛋的纵径与横径之比表示，蛋形指数一般在1.30～1.35。蛋黄比率能反映出蛋黄所占全蛋的比例，数值越大表示蛋品质较好，新鲜蛋的蛋黄指数为0.38～0.44。哈氏单位可以衡量蛋白品质和蛋的新鲜程度，是现在国际上对蛋品质评定的重要指标和常用方法，新鲜蛋的哈氏单位在80以上。蛋黄色泽是衡量蛋黄颜色深浅的指标，对蛋的商品价值和价格有很大影响。甘悦宁等[2]研究发现将玉米在4.0、6.0、8.0和10.0 mm的筛片孔径下粉碎，配制成饲粮饲喂略阳乌鸡，研究结果

表明蛋壳厚度、蛋壳强度、蛋形指数、蛋清高度、蛋黄颜色及哈氏单位不同玉米粉碎粒度组间无显著性差异。张燕鸣等[8]研究发现筛片孔径由4.5 mm增加到8.0 mm时，饲料粉碎粒度对蛋重、蛋形指数、蛋比重、哈氏单位、蛋黄指数和蛋壳厚度均无显著影响。Safaa等[18]研究发现，产蛋高峰期蛋鸡饲粮中玉米粒度的改变对产鸡蛋的蛋黄比率没有影响。张春兰[4]研究发现玉米粒度对鸡蛋的蛋比重、蛋壳强度和哈氏单位无明显影响。Deaton等[23]以粒度为514～873 μm玉米配成的饲粮饲喂蛋鸡，在23～72周龄，蛋壳强度均无显著性差异。本试验中玉米经锤片粉碎机和对辊式滚刀粉碎机破碎后，不同粒度对蛋品质的影响不大，与以上的研究结果相一致。

3.5　玉米粒度对蛋鸡消化器官指数的影响

很多研究都表明饲料粉碎粒度对鸡胃肠道的生理功能有重要的影响。Parsons 等[21]报道肌胃重量和肌胃相对重量随玉米粒度增大而显著增大，同时，Jiménez-Moreno 等[24]的研究结果也表明，肌胃的重量会随饲料粒度的增大而增大，粗粉碎有助于肌胃的发育，这与 Nir 等[25-26]、Engberg 等[27]和 Svihus 等[28]的研究结果相一致。饲喂粗粉碎料会增加肌胃的尺寸，可能是由于增加肌肉以适应增强肌胃研磨作用。相对粗粉碎料而言，细粉碎料会使腺胃扩张，但是否同时会使腺胃增重，有不同的报道[29]。Jones 等[30]研究发现使用细粉碎的颗粒料会使肌胃发育不完善，诱发腺胃的扩张和肥大。Engberg 等[27]发现当喂粉碎较细的细粉料时，饲粮以较快的速度经胃进入十二指肠、空肠和回肠，而长期饲喂较细粉碎饲粮会导致肌胃萎缩，小肠肥大。Rodgers 等[31]研究发现较细颗粒的饲粮会导致肌胃内容物 pH 降低，影响肌胃的发育。同时，饲料细粉碎时会增加胃溃疡的发病率，但因饲料的理化特性、含水量及其他因素的不同而不同。张春兰等[32]将粒度为 671.56、824.97 和 1 001.70 μm 的 3 种玉米配成的饲粮饲喂罗曼粉壳蛋鸡，研究发现玉米粒度越小，蛋鸡肌胃溃疡评分分值越大，且最小粒度组的溃疡评分显著高于粗粒度组。本试验中玉米采用锤片粉碎机粉碎后，筛片孔径 8.0 mm 组（几何平均粒径 1 980.00 μm）肌胃相对重量高于筛片孔径 4.0 mm 组（几何平均粒径 991.67 μm），十二指肠、回肠和小肠相对长度都大于筛片孔径 4.0 mm 组，只有空肠相对长度略小于筛片孔径 4.0 mm 组，但差异不显著；玉米采用对辊式滚刀粉碎机破碎后，碟盘间隙 0.7 mm 组（几何平均粒径 1 446.30 μm）腺胃、十二指肠、回肠都高于其他各组，十二指肠、空肠、回肠和小肠相对长度都大于其他各组，但差异不显著，同时，所有组的肌胃均未发现溃疡，这可能与本试验的玉米粉碎粒度较大有关。

4　结　论

① 玉米的几何平均粒径随着粉碎机筛片孔径或碟盘间隙的增大显著增大，且锤片粉碎机筛片孔径为 4.0 和 8.0 mm 和对辊式滚刀粉碎碟盘间隙为 0.3 和 1.5 mm 时，玉米的几何平均粒径分别属于同一水平，但其粒度分布有所不同。

② 玉米破碎组蛋鸡的生产性能、饲粮养分表观利用率、蛋品质和消化器官指数优于粉碎组。

③ 针对蛋鸡饲料，玉米采用对辊式滚刀粉碎破碎时，碟盘间隙为 0.7 mm，玉米几何平均粒径为 1 446.30 μm 时，蛋鸡的生产性能、蛋品质和消化器官指数最佳。

参考文献：

[1] 李忠平.粉碎粒度对饲料加工生产性能的影响[J].饲料工业,2001,22(4):5–7.

[2] 甘悦宁,宋志芳,王均良,等.玉米粉碎粒度对陕西略阳乌鸡生产性能及蛋品质的影响[J].饲料研究,2014(19):53–57.
[3] 张燕鸣,杨秀娟,陈琛,等.饲料粉碎粒度对蛋鸡的影响[J].饲料研究,2015(10):9–11.
[4] 张春兰.玉米粒度对产蛋鸡生产性能及消化道生理的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010:3–10.
[5] 徐涵秋.饲料粉碎技术应用现状及发展趋势[J].四川农机,2010(3):30–31.
[6] 田玉民,黄涛,吴颖,等.蛋鸡配合饲料玉米粉碎工艺的研究[J].中国饲料,2008(12):13–14.
[7] 张燕鸣,杨秀娟,张曦,等.饲料不同粉碎粒度对蛋鸡粗蛋白代谢率和十二指肠形态的影响[J].中国家禽,2015,37(22):29–34.
[8] 张燕鸣,杨秀娟,曹胜雄,等.饲料粉碎粒度及粒度分布对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J].饲料工业,2015,36(17):18–22.
[9] 孟陆丽,石永峰,程谦伟.轧辊式粉碎机和锤片式粉碎机在生产中的功效比较[J].粮油加工,2007(8):118–120.
[10] HELMANN M,程宗佳.逐级粉碎技术可有效提高饲料生产效率[J].饲料研究,2010(1):72–73.
[11] 秦永林.锤片式粉碎机性能对常规饲料粉碎效果影响的研究[D].硕士学位论文.无锡:江南大学,2009:27–29.
[12] 王卫国.典型锤片粉碎机的饲料粉碎粒度的初步研究[J].饲料工业,2001,22(9):6–8.
[13] 王卫国,付旺宁,黄吉新,等.饲料粉碎粒度与能耗及蛋白质体外消化率的研究[J].饲料工业,2001,22(10):33–37.
[14] 杨洁.玉米品质特性与饲料粉碎粒度、水分对肉鸡生长性能的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2013:27–32.
[15] 孙启波,刘宁,杨玲,等.筛孔直径对玉米和小麦粉碎粒度、生产效率和饲料性状的影响[J].饲料工业,2016,37(9):15–18.
[16] 王卫国,朱礼海,廖国平.产蛋鸡饲料的粉碎粒度研究[J].饲料工业,2002,23(2):5–7.
[17] 高天权.玉米粉碎粒度对产蛋鸡生产性能的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2007:14–18.
[18] SAFAA H M,JIMÉNEZ-MORENO E,VALENCIA D G,et al.Effect of main cereal of the diet and particle size of the cereal on productive performance and egg quality of brown egg-laying hens in early phase of production[J].Poultry science,2009,88(3):608–614.
[19] 王卫国,卢萍,王俊卿,等.7 种饲料原料粉碎粒度与蛋白质体外消化率及能耗的研究[J].中国畜牧杂志,2003,39(5):18–20.
[20] KILBURN J,EDWARDS H M,Jr.The effect of particle size of commercial soybean meal on performance and nutrient utilization of broiler chicks[J].Poultry Science,2004,83(3):428–432.
[21] PARSONS A S,BUCHANAN N P,BLEMINGS K P,et al.Effect of corn particle size and pellet texture on broiler performance in the growing phase[J].The Journal of Applied Poultry Research,2006,15(2):245–255.
[22] 李清晓,李忠平,颜培实,等.豆粕粉碎粒度对肉鸡日粮养分利用率的影响[J].家畜生态学

报,2006,27(5):20–25.

[23] DEATON J W,LOTT B D,BRANTON S L.Corn grind size and broilers reared under two temperature conditions[J].The Journal of Applied Poultry Research,1995,4(4):402–406.

[24] JIMÉNEZ-MORENO E,GONZÁLEZ-ALVARADO J M,GONZÁLEZ-SÁNCHEZ D,et al.Effects of type and particle size of dietary fiber on growth performance and digestive traits of broilers from 1 to 21 days of age[J].Poultry Science,2010,89(10):2197–2212.

[25] NIR I,SHEFET G,AARONI Y.Effect of particle size on performance.1.Corn[J].Poultry Science,1994,73(1):45–49.

[26] NIR I,HILLEL R,SHEFET G,et al.Effect of grain particle size on performance.2.Grain texture interactions[J].Poultry Science,1994,73(6):781–791.

[27] ENGBERG R M,HEDEMANN M S,JENSEN B B.The influence of grinding and pelleting of feed on the microbial composition and activity in the digestive tract of broiler chickens[J].British Poultry Science,2002,43(4):569–579.

[28] SVIHUS B,HETLAND H,CHOCT M,et al.Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat[J].British Poultry Science,2002,43(5):662–668.

[29] GABRIEL I,MALLET S,LECONTE M.Differences in the digestive tract characteristics of broiler chickens fed on complete pelleted diet or on whole wheat added to pelleted protein concentrate[J].British Poultry Science,2003,44(2):283–290.

[30] JONES G P D,TAYLOR R D.The incorporation of whole grain into pelleted broiler chicken diets:production and physiological responses[J].British Poultry Science,2001,42(4):477–483.

[31] RODGERS N J,CHOCT M,HETLAND H,et al.Extent and method of grinding of sorghum prior to inclusion in complete pelleted broiler chicken diets affects broiler gut development and performance[J].Animal Feed Science and Technology,2012,171(1):60–67.

[32] 张春兰,张克英,丁雪梅,等.玉米粒度对蛋鸡消化道生理及饲料流通速率的影响[J].动物营养学报,2010,22(5):1271–1278.

Effects of Corn Crushed Particle Size on Performance, Egg Quality and Digestive Organ Indices of Laying Hens

YANG Jie[1] ZHANG Jiaqi[1] LI Junguo[1,2*] YU Zhiqin[1] LI Jun[1] NIU Libin[1]

（1. *Feed Processing Innovation Team, Feed Research Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *Key Laboratory of Feed Biotechnology, Ministry of Agriculture, Beijing* 100081, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of corn grinding and crushing particle size on performance, egg quality and digestive organ indices of laying hens. The corn in a basal diet was ground with a hammer mill equipped with 4.0 and 8.0 mm screens in control groups, while the corn in a basal diet was crushed with a roller mill with a gap setting of 0.3, 0.7, 1.1 and

1.5 mm in experimental groups. A total of 1 620 thirty-week-old Hy-Line brown laying hens were selected and randomized into 6 groups with 6 replicates per group and 45 laying hens per replicate and the feeing experiment lasted for 8 weeks. The results showed that the geometric mean diameter of corn was significantly increased with the increasing of sieve diameter and gap setting (P<0.05). The performance, dietary nutrient apparent utilization, egg quality and digestive organ indices of laying hens in crushing groups were better than those in grinding groups. When corn was ground with a hammer mill, the performance and dietary nutrient apparent utilization of hens in 8.0 mm sieve diameter group (the geometric mean diameter of corn was 1 980.00 μm) were significantly higher than those in 4.0 mm sieve diameter group (the geometric mean diameter of corn was 991.67 μm) (P<0.05), but no significant difference were found in the egg quality and digestive organ indices of hens between them (P>0.05). When corn was crushed with a roller mill, the performance of hens in 0.7 gap setting group (the geometric mean diameter of corn was 1 446.30 μm) was better than that in the other groups, and the laying rate was significantly higher than that in 8.0 mm sieve diameter group (P<0.05), but no significant difference were found in the dietary nutrient apparent utilization, egg quality and digestive organ indices (P>0.05). In the condition of this study, it is concluded that corn crushed with a roller mill is better than that ground with a hammer mill in laying hens' feed, and the performance, egg quality and digestive organ indices are the best in 0.7 gap setting group (the geometric mean diameter of corn was 1 446.30 μm).

Key words: crushed particle size; laying hens; performance; egg quality; digestive organ indices

---

*Corresponding author, professor, E-mail: lijunguo@cass.cn (责任编辑　田艳明)